

ISABELLA MOREIRA BARRETO GOMES DE BRITO

**CORRIDA DE RESISTÊNCIA: ASPECTOS EVOLUTIVOS DA ANATOMIA E
BIOMECÂNICA DE MEMBROS INFERIORES DE *Homo sapiens***

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

João Pessoa

2018

ISABELLA MOREIRA BARRETO GOMES DE BRITO

**CORRIDA DE RESISTÊNCIA: ASPECTOS EVOLUTIVOS DA ANATOMIA E
BIOMECÂNICA DE MEMBROS INFERIORES DE *Homo sapiens***

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de conclusão de Curso), como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Gustavo Henrique Calazans
Vieira

Co-orientador: Thales Henrique de Araújo
Sales

João Pessoa
2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B862c Brito, Isabella Moreira Barreto Gomes de.

Corrida de resistência: aspectos evolutivos da anatomia e biomecânica de membros inferiores de Homo sapiens / Isabella Moreira Barreto Gomes de Brito. - João Pessoa, 2018.

40 f. : il.

Orientação: Gustavo Henrique Calazans Vieira.

Coorientação: Thales Henrique de Araújo Sales.

Monografia (Graduação) - UFPB/CCEN.

1. Anatomia. 2. Corrida. 3. Evolução Biológica. 4. Marcha. I. Vieira, Gustavo Henrique Calazans. II. Sales, Thales Henrique de Araújo. III. Título.

UFPB/CCEN

ISABELLA MOREIRA BARRETO GOMES DE BRITO

**CORRIDA DE RESISTÊNCIA: ASPECTOS EVOLUTIVOS DA ANATOMIA E
BIOMECÂNICA DE MEMBROS INFERIORES DO *Homo sapiens***

Monografia apresentada ao Curso de
Ciências Biológicas, como requisito
parcial à obtenção do grau de Bacharel em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal da Paraíba.

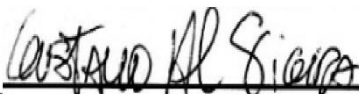
Data:

07.11.2018

Resultado:

9.16. Aprovado

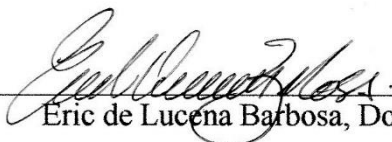
BANCA EXAMINADORA:



Gustavo Henrique Calazans Vieira, Doutor, Universidade Federal da Paraíba



Robson Tamar da Costa Ramos, Doutor, Universidade Federal da Paraíba



Eric de Lucena Barbosa, Doutor, Unipê

The night is darkest just before the dawn. And I promise you. The dawn is coming.

Harvey Dent

AGRADECIMENTOS

Familiares

A minha família, em especial a minha mãe **Juerila Moreira Barreto**, por exercer com maestria seu papel de cuidado, me guiando, sendo apoio e me dando forças para continuar.

Ao meu pai, **Antônio Gomes Filho**, por ter me incentivado a buscar sempre o melhor de mim.

A minha tia e madrinha, **Maria das Graças** (*in memoriam*) por ser um modelo de ser humano, sua memória é perpétua.

A tia **Maria do Desterro** por ser um exemplo a ser seguido e por sempre estimular a busca pelo conhecimento.

Ao meu irmão **Theofilo de Oliveira**, pelo cuidado e conselhos fornecidos durante os anos e **Abdinardo de Oliveira** embora longe, mas, lembrado com carinho.

Aos meus irmãos de coração, **Camila** e **Danilo Rolim**, por me completarem e pelas incontáveis palavras de carinho.

Profissional

Ao meu orientador **Gustavo Vieira** por acreditar nesse projeto e em mim.

Ao meu co-orientador **Thales Sales** por ampliar meu fascínio pela anatomia, por todos os ensinamentos e disposição de ajudar.

A todos os professores os quais contribuíram para a minha formação tanto na UFPB como na UNIPÊ, que a partir de suas aulas e discussões abriram a minha mente para um universo de possibilidades.

Aos membros da banca, **Robson Tamar** e **Eric de Lucena**, por estarem dispostos a contribuir e acrescentar informações valiosas a este trabalho.

Fraternos

Aos meus amigos, **Isabela Jerônimo**, pela compreensão inacabável. A **Hermes Diniz**, por ser atencioso e prestativo. A **André Caldas**, **George Henrique** e **Igor Nascimento** por proporcionarem risadas infinitas e momentos de descontração. Aos amigos do curso de Ciências Biológicas, **Gabriela Sotto-Maior**, **Pedro Gabriel**, **Ariosvaldo Júnior**, **Victor Augusto**, **Lívia Oliveira**, **Lucas Cavalcanti**, **Fabício Furni**, **Manoel Oliveira**, **Gustavo Almeida**, **Kassiano Sousa**, **Souto Neto**, **Jeanesson Sales** e **Antônio Neto**, meus dias eram muito mais iluminados com vocês.

Por último e não menos importante, minha profunda gratidão as minhas cachorras, **Cacau** e **Milk Way**, por serem companhia constante e fonte de amor incondicional.

RESUMO

Introdução: A corrida de resistência tem se destacado entre uma ampla variedade de exercícios físicos devido aos seus benefícios para a saúde humana. Definida como corridas com percurso de distâncias superiores a 5 km empregando o metabolismo aeróbico, esta habilidade é exclusiva aos seres humanos em relação à ordem dos primatas. Por ser uma capacidade singular, incentiva pesquisas que buscam entender os fatores que contribuem para o desenvolvimento desta aptidão. Em decorrência da maior utilização dos membros inferiores durante a corrida, este trabalho focou na estrutura de ossos, tendões e músculos dos mesmos, bem como mecanismos termorregulatórios. **Objetivo:** verificar quais características permitiram o desenvolvimento da corrida de resistência em *Homo sapiens*, sob a ótica da evolução humana, anatomia, biomecânica e fisiologia. **Metodologia:** foi realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados Periódicos Capes, Google Acadêmico e Pubmed. **Resultados:** foram encontrados 14 artigos que tratam da temática de corrida de resistência e evolução publicados entre os anos de 2004 e 2017. **Conclusão:** o processo evolutivo levou a modificações anatômicas e biomecânicas em *Homo sapiens* que permitem a realização da corrida de resistência a partir de economia energética, estabilização e termorregulação, a manutenção desta prática está associada a possíveis vantagens adaptativas.

Palavras-chave: Anatomia. Corrida. Evolução Biológica. Marcha.

ABSTRACT

Introduction: The endurance running has stood out from a wide variety of physical exercises because of its benefits to human health. Defined as running distances greater than 5 km using aerobic metabolism, this ability is unique in humans in relation to the order of the primates. Because it is an unusual capacity, it encourages research that seeks to understand the factors that contribute to the development of this aptitude. Due to the greater use of the lower limbs during running, this work focused on the structure of bones, tendons and muscles of the same, as well as thermoregulatory mechanisms. **Objective:** to verify which characteristics allowed the development of the endurance running in *Homo sapiens* from the perspective of human evolution, anatomy, biomechanics and physiology. **Methodology:** a bibliographic review was carried out in the Periódicos Capes, Scholar Google and Pubmed. **Results:** 14 articles were found dealing with the issue of endurance running and evolution published between the years 2004 and 2017. **Conclusion:** the evolutionary process led to anatomical and biomechanical modifications in *Homo sapiens* that allowed the practice of the endurance running using energy economy, stabilization and thermoregulation criteria, and the maintenance of this practice is associated with possible adaptive advantages.

Keywords: Anatomy. Running. Biological Evolution. Gait.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do Tempo dos Hominíneos.....	15
Figura 2 - Bipedalismo em diferentes grupos.....	15
Figura 3 - Características anatômicas de chimpanzé, <i>A. afarensis</i> e <i>H. erectus</i>	16
Figura 4 - Incidência solar e postura corporal.....	17
Figura 5 - Diferenças anatômicas da Pelve.....	18
Figura 6 - Diferenças anatômicas do Pé.....	20
Figura 7 - Diferenças anatômicas no Glúteo Máximo.....	21
Figura 8 - Ciclo da marcha.....	22
Figura 9 - Fases da corrida.....	22

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Resultados.....	26
-----------------------------------	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A. afarensis: *Australopithecus afarensis*

A. ramidus: *Ardipithecus ramidus*

AL 288-1: espécime “Lucy” de *Australopithecus afarensis*

BDNF: Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro

H. erectus: *Homo erectus*

H. habilis: *Homo habilis*

H. sapiens: *Homo sapiens*

Km: quilômetro

P. troglodytes: *Pan troglodytes*

S. tchadensis: *Sahelanthropus tchadensis*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
1.1 EVOLUÇÃO DO <i>Homo sapiens</i> E O BIPEDALISMO.....	13
1.2 INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NA EVOLUÇÃO E A TERMOREGULAÇÃO.....	16
1.3 ASPECTOS EVOLUTIVOS, ANATÔMICOS E BIOMECÂNICOS DOS MEMBROS INFERIORES.....	18
1.3.1 OSSOS.....	18
<i>Pelve</i>	18
<i>Coxa e Perna</i>	19
<i>Pés</i>	19
1.3.2 TENDÕES.....	20
1.3.3 MÚSCULOS.....	20
<i>Glúteo Máximo</i>	20
1.4 MARCHA.....	21
1.5 CORRIDA DE RESISTÊNCIA.....	23
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 OBJETIVO GERAL.....	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4 RESULTADOS.....	26
5 DISCUSSÃO.....	30
5.1 Gasto energético.....	30
5.2 Estabilização.....	31
5.3 Termorregulação.....	32
5.4 Implicações.....	33
5.5 Corrida de resistência e atletas de elite.....	35
6 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS.....	38

CORRIDA DE RESISTÊNCIA: ASPECTOS EVOLUTIVOS DA ANATOMIA E BIOMECÂNICA DE MEMBROS INFERIORES DE *Homo sapiens*

INTRODUÇÃO

Atualmente, a relação entre exercício físico e saúde está bem definida. A prática de exercícios físicos está associada a benefícios à saúde física e mental, como diminuição do risco de doenças cardiovasculares, obesidade, ansiedade e depressão, bem como aumento da qualidade de vida, inclusive para pacientes que sobreviveram ao câncer (PENEDO, 2005). Dentre a variedade de exercícios que podem ser praticados, temos a corrida de resistência. Esta consiste na capacidade de correr distâncias acima de 5 km (quilômetros) com a utilização do metabolismo aeróbico (LIEBERMAN & BRAMBLE, 2007).

Muitas pessoas ao redor do mundo praticam essa modalidade de corrida, que pode ser a partir das corridas de rua com diferentes percursos. As maratonas são provas que chamam atenção, quando se trata de corrida de resistência, pois consistem em 42 km que devem ser percorridos. Essas provas apresentam um alto grau de dificuldade em virtude do esforço realizado e os atletas são submetidos a atividades extenuantes. Mesmo que a pessoa não seja um atleta de elite, finalizar uma maratona já pode ser considerado um grande feito.

Os seres humanos apresentam adaptações, como vias metabólicas específicas, relacionados à prática de atividade física, além disso, a capacidade de melhor se movimentar está associada à sobrevivência do indivíduo (BOOTH & LEES, 2007). Assim, é importante elucidar as bases biológicas da prática de exercícios físicos. Como a corrida de resistência tem adquirido vários adeptos, podemos nos questionar como essa prática se tornou popular e se esse comportamento está ligado ao processo de evolução.

Seres humanos são os únicos entre os primatas capazes de realizar corrida de resistência (LIEBERMAN & BRAMBLE, 2007). Outros animais corredores também não conseguem manter a corrida durante longas distâncias e longos períodos de tempo, principalmente devido ao seu mecanismo de termorregulação (CARRIER, 1984). Assim, é pertinente descobrir o que levou o ser humano a ser competente para a realização de corridas de resistência. Nos dias atuais, essa atividade pode ser feita como forma de lazer ou esporte de alto rendimento, mas suas origens podem ter relação com outras práticas.

O objetivo desse trabalho é verificar quais características permitiram o desenvolvimento da corrida de resistência em *Homo sapiens*. Esses objetivos foram atingidos a partir de uma revisão da literatura.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 EVOLUÇÃO DO *Homo sapiens* E O BIPEDALISMO

Para chegarmos ao “homem moderno” foi necessário um longo processo evolutivo de 7 a 9 milhões de anos entre a linhagem humana e a dos macacos (SENUT et al, 2001). Bipedalismo habitual é considerado um caractere determinante da linhagem humana (PONTZER, 2017). De acordo com o registro fóssil, a postura bípede pode ter sido um dos aspectos que iniciou a separação de seres humanos dos grandes primatas. Essa forma de locomoção é considerada incomum e pode ter sido selecionada a partir de pressões seletivas relacionadas a mudanças climáticas. Apesar dos dados apontarem para o aparecimento do bipedalismo nos primeiros hominíneos, esta era uma condição facultativa que só depois tornou-se habitual. (LIEBERMAN, 2015)

Traçando uma linha do tempo da evolução humana (**Figura 1**), o fóssil de hominíneo mais antigo é *Sahelanthropus tchadensis* que foi encontrado no Chade, África e é datado de aproximadamente 7 milhões de anos (BRUNET et al, 2005), o que o localiza próximo do último ancestral comum entre humanos e chimpanzés (*Pan troglodytes*). Apesar de apresentar muitos aspectos primitivos, *S. tchadensis* apresenta muitas características derivadas pertencentes aos hominíneos: nos dentes, face e crânio, o último contendo informações que sugerem a sua possível postura bípede, como a anteriorização do Forame Occipital. (BRUNET et al, 2002).

Outro fóssil muito antigo relacionado às origens dos seres humanos é *Orrorin tugenensis* encontrado no Quênia, África, com aproximadamente 6 milhões de anos e que apresenta evidências em seu Fêmur (Presença de Linha Intertrocantérica) indicando adaptação ao bipedalismo, apesar de possuir características que o tornavam um bom escalador. (SENUT et al, 2001; RICHMOND, & JUNGERS, 2008).

Avançando no tempo, temos *Ardipithecus ramidus* que se encontra na linha do tempo de transição para o gênero *Australopithecus* e é datado de aproximadamente 4,4 milhões de anos. *A. ramidus* possuía diversas adaptações para a vida arborícola, e modificações anatômicas na Pelve (Ílio com orientação sagital) também sugerem um grau de bipedalismo. (SUWA et al, 2009; WHITE et al, 2009; LOVEJOY et al, 2009).

Em meados de 1930, um novo fóssil foi encontrado, *Australopithecus afarensis* e com o passar dos anos, seu registro fóssil tornou-se muito rico, incluindo esqueletos quase completos como a famosa “Lucy” (ou, tecnicamente, AL 288-1). Registros da espécie foram encontrado principalmente na Etiópia e Tanzânia. Estudos revelaram que os fósseis tinham cerca de 3 a 3,7 milhões de anos, mais recentes que *A. ramidus*. Mudanças no Fêmur, Tíbia, e Pé nesse grupo indicam presença do bipedalismo, porém, ainda mesclado com a vida nas árvores. O caminhar de *A. afarensis* é considerado rudimentar e menos eficiente energeticamente, (KIMBEL & DELEZENE, 2009) bem como os outros indivíduos supracitados.

Os hominíneos, de modo geral, aumentaram de tamanho, dominando melhor a postura ereta e expandindo o volume do crânio até que, finalmente, chegamos ao gênero *Homo*. Os indivíduos pertencentes a este gênero possuem muitos caracteres que os definem como tal, ressaltando a presença de uma cintura pélvica e membro inferiores adaptados à postura ereta e marcha bípede, polegar opositor bem desenvolvido que permite movimentos mais precisos. (LEAKEY, TOBIAS e NAPIER, 1964).

Homo habilis, também conhecido como hominíneo de Olduvai, é um dos membros mais antigos do gênero, com fósseis datados em 1,7 milhões de anos (SUSMAN & STERN, 1982), contudo estudos recentes datam as origens do gênero *Homo* a 2,8 milhões de anos (PONTZER, 2017) Análises de fragmentos de pés, pernas e mãos de *H. habilis*, o descrevem como capaz da marcha bípede e fabricação das primeiras ferramentas de pedra. Porém, apesar das adaptações para essas atividades, ele ainda mantinha traços para escalar árvores. (SUSMAN & STERN, 1982). *Homo erectus* foi contemporâneo do *H. habilis* e também apresentava adaptações ao bipedalismo, porém com um corpo e cérebro maior, que exigia uma maior demanda energética. (ANTÓN, 2003)

Foram encontradas evidências fósseis de aproximadamente 300 mil anos de ossos pertencentes ao *Homo sapiens* (HUBLIN et al, 2017). Tais evidências apontam que nossa espécie já era dotada do bipedalismo habitual e marcha mais econômica quando comparado a chimpanzés (SOCKOL; RAICHLEN; PONTZER, 2007), o que pode levar a implicações na caminhada e especialmente a capacidade de correr longas distâncias. (**Figura 2 e 3**)

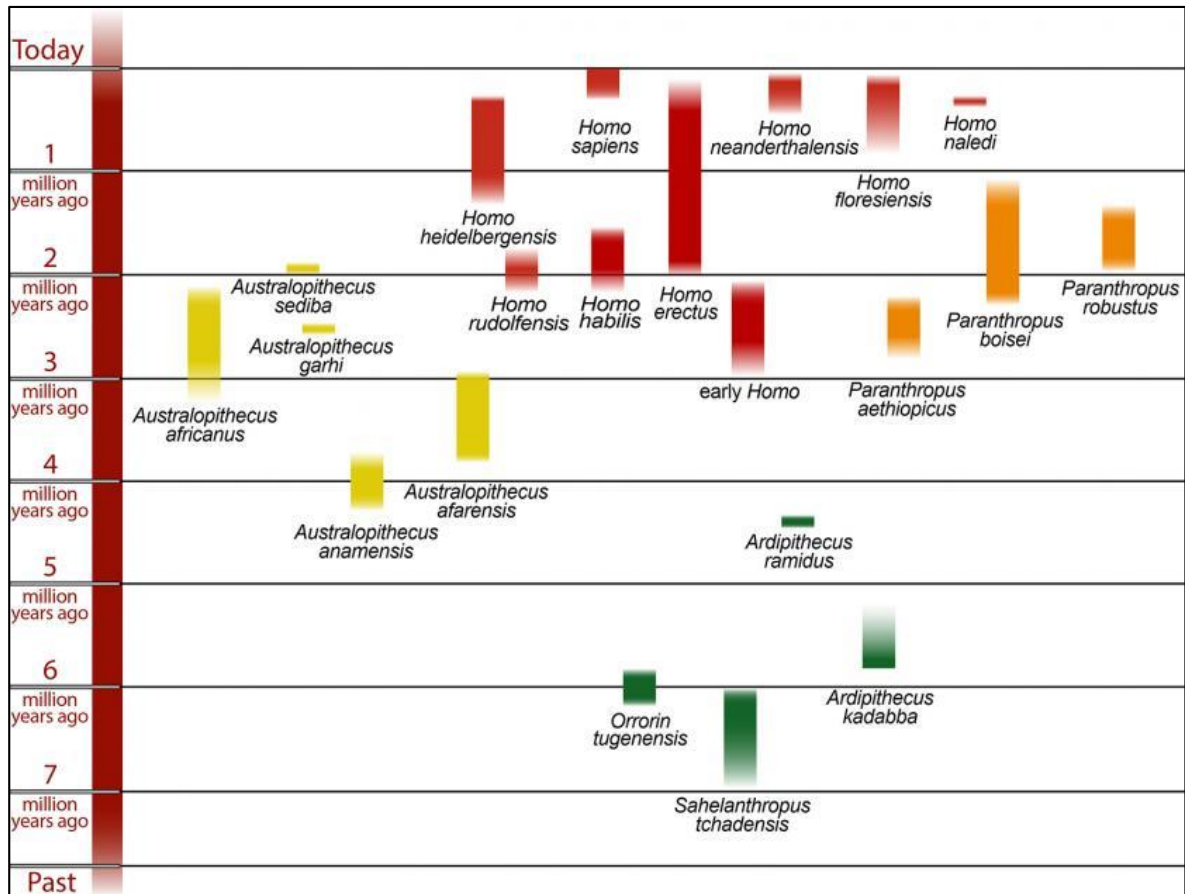


Figura 1: Linha do tempo dos hominíneos. As diferentes cores de barras apontam grupos distintos de hominíneos, mostrando suas amplitudes de existência em relação ao tempo geológico. Tonalidades formadas por gradientes de cores mostram a os extremos de existência (origem e extinção), apontados por dados fósseis, anatômicos e/ou arqueológicos.

Fonte: <https://humanorigins.si.edu/evidence/human-fossils/species>

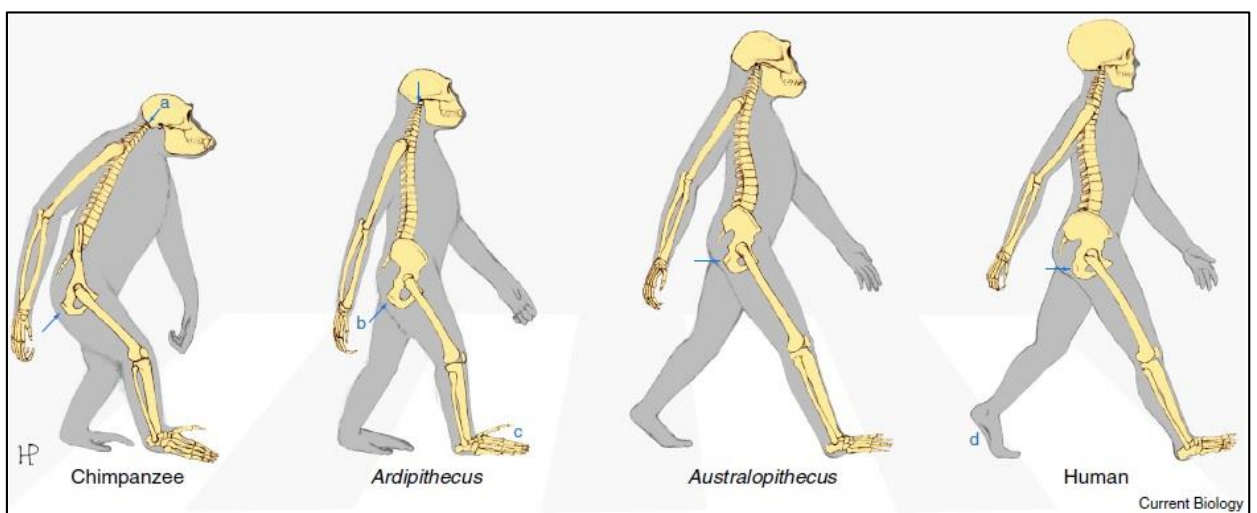


Figura 2: Orientação do Forame Occipital (a), Isquio (b), abdução do Hálux (c) e arco plantar (d) em diferentes grupos com implicações para a postura bípede.

Fonte: (PONTZER, 2017)

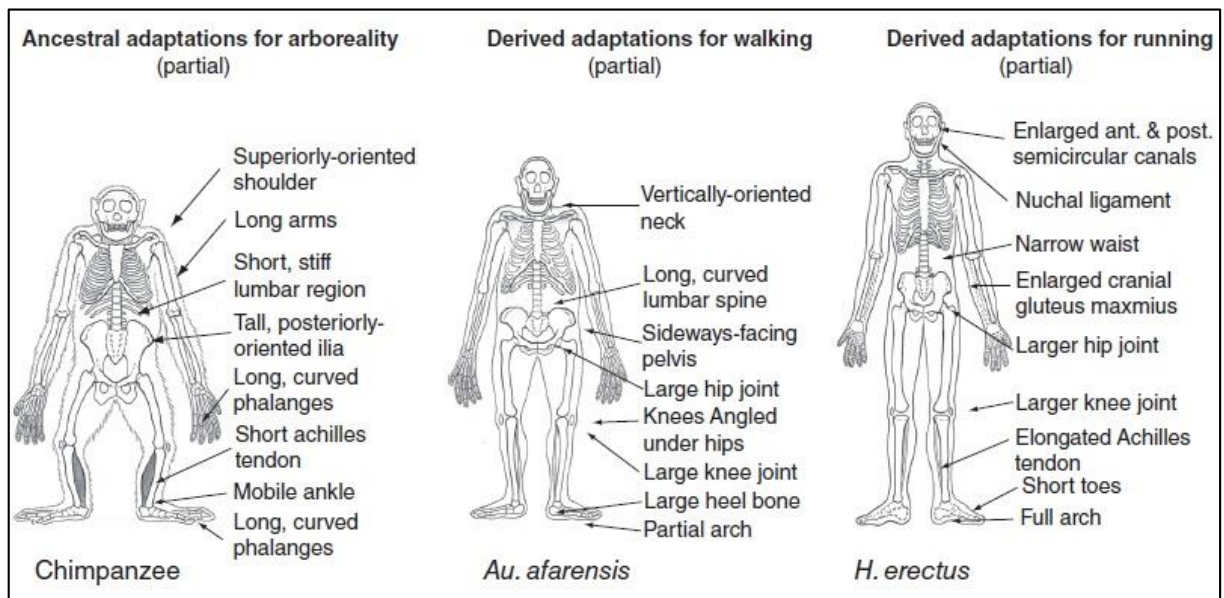


Figura 3: Conjunto de características anatômicas em chimpanzés (a), *A. afarensis* (b) e *H. erectus* (c) associadas ao hábito arborícola, caminhada e corrida respectivamente.

Fonte: (LIEBERMAN, 2015)

1.2 INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NA EVOLUÇÃO E A TERMORREGULAÇÃO

Os seres vivos do planeta respondem aos estímulos ambientais de onde estão inseridos, portanto mudanças climáticas podem ser uma pressão seletiva que leva a novidades evolutivas através da seleção natural. (DEMENOCAL, 2004). Logo, é importante compreender como era o ambiente e o clima em que viviam os hominíneos e se eles tiveram influência na evolução humana.

Durante o século XX, acreditava-se que evolução humana aconteceu sobre os desafios encontrados no ambiente de savana, áreas mais abertas com menor quantidade de recursos e menos locais para abrigo. Outra é a hipótese e o *turnover* (rotatividade) que se referia a uma concentração de especiação e extinção em um curto espaço de tempo em decorrência de mudanças ambientais. (POTTS, 1998).

Outra teoria denominada *variabilidade ambiental*, postula que durante a evolução humana houve uma grande instabilidade climática, que resultou em mudanças na vegetação e oscilações da temperatura. Durante estas mudanças os organismos que não se adaptavam eram extintos, enquanto os bem adaptados prosperavam. Portanto peculiaridades como o andar bípede, produção de ferramentas e a dispersão do gênero *Homo* em diferentes lugares do globo suportam essa teoria (POTTS, 2013) (Smithsonian - Smithsonian's Human Origins Program, 2018)

Dentro do contexto ambiental e do desenvolvimento da capacidade de correr longas distâncias, é importante apresentar um mecanismo de dissipação de calor competente. Existem duas formas de resfriamento corporal sendo que uma ocorre por meio da respiração, evaporação pela mucosa nasal, bucal ou da língua, e a outra é através do suor. Ambas possuem vantagens e desvantagens. Seres humanos dissipam calor através da produção de suor e outro ponto que auxilia na eficiência da perda de calor é a ausência de pelos, evitando o hiperaquecimento durante a corrida. (CARRIER, 1984).

Humanos apresentam uma densidade de maior dessas glândulas sudoríparas em comparação com animais que também produzem suor, isso permite uma maior eficiência em sua função. (LIEBERMAN, 2015; CARRIER, 1984). A evolução da postura bípede pode estar relacionada a regulação da temperatura corpo humano. Estudos mostram que essa postura está sujeita a menor exposição de radiação solar ao meio dia (horário mais quente), em virtude da área de exposição em comparação com a postura quadrupede e a presença de pelos que funcionava como proteção, deixa de ser necessária. Entretanto a manutenção de pelos na cabeça pode estar relacionada a proteção dessa área e do cérebro na incidência perpendicular dos raios solares. (WHEELER, 1984). (**Figura 4**). Os pelos também funcionam como isolantes térmicos, deste modo a sua perda está associada a uma melhor dissipação de calor.

Seres humanos conseguem manter o corpo resfriado durante a prática de atividades físicas em temperaturas elevadas. Essa habilidade tem um importante papel durante a evolução e a corrida de longa distância, pois ofereceu novas oportunidades para obtenção de recursos (LIEBERMAN, 2015).

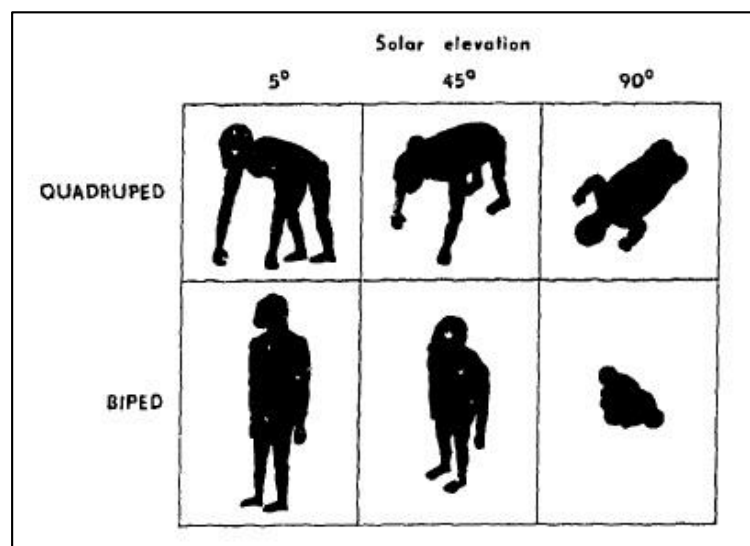


Figura 4: Representação da área de exposição corporal em relação a incidência solar em ângulos de 5°, 45° e 90° graus em quadrúpedes e bípedes.

Fonte: (WHEELER, 1984)

1.3 ASPECTOS EVOLUTIVOS, ANATÔMICOS E BIOMECÂNICOS DOS MEMBROS INFERIORES

1.3.1 OSSOS

Pelve

A pelve está associada a diversos processos biológicos e apresenta morfologia diferente em macacos e humanos (GRUSS & SCHMITT, 2015) (**Figura 5**). Esta estrutura óssea tem forma de bacia e liga os membros inferiores ao tronco, formando a cintura pélvica. Além disso, suporta o peso da parte superior do tronco, assim como as vísceras e está relacionada à manutenção da postura ereta. (AIELLO & DEAN, 1990).

A pelve é constituída de diferentes partes, dentre elas a Crista Ilíaca que está ligada à movimentação e estabilização da postura bípede e até como mecanismo de termorregulação. (GRUSS & SCHMITT, 2015). A pelve fossilizada de *Homo habilis* mostra mudanças anatômicas que sugerem alterações funcionais nesses indivíduos. Este fóssil apresenta aspectos semelhantes à pelve do homem moderno, como comprimento do Corpo e Tuber Isquiático, tamanho do Acetábulo e da Articulação Sacroilíaca. (ROSE, 1984).

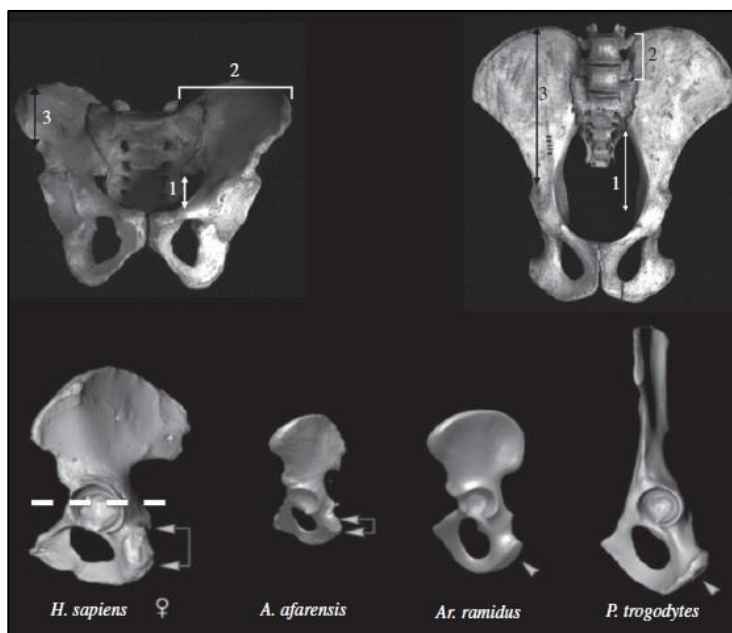


Figura 5: Imagens das pelves de *H. sapiens*, *A. afarensis*, *Ar. ramidus* e *P. troglodytes*. Os ossos do quadril de seres humanos e do chimpanzé diferem principalmente no tamanho e orientação das Cristas Ilíacas (apontadas com o número 2 em branco), em humanos estas são

menores e mais lateralizadas. Já nos chimpanzés elas são maiores e encontram-se voltadas para frente.

Fonte: (GRUSS & SCHMITT, 2015)

Coxa e perna

A postura bípede exige maior ação dos membros inferiores durante a locomoção, diferente da quadrúpede, a qual utiliza os quatro membros. Já que a parte inferior é tão ativa durante o deslocamento, é importante avaliar se existe influência do seu comprimento. Steudel-Numbers, Weaver e Wall-Scheffler (2007) avaliaram a ação do comprimento dos membros inferiores sobre o custo metabólico da locomoção. Eles mediram o comprimento da coxa a começar do Trocânter Maior ao ponto médio do joelho, e da perna, a partir do ponto médio do joelho ao Maléolo Lateral da Fíbula. Os resultados mostraram uma relação diretamente proporcional entre comprimento dos membros inferiores e a eficácia da corrida.

Os hominíneos que antecederam o gênero *Homo* apresentavam membros inferiores menores comparados aos membros superiores, o que tornava sua locomoção bípede mais custosa. (AIELLO & DEAN, 1990). Outro aspecto importante, possivelmente associado a uma locomoção rápida e sustentada, Côndilos do Fêmur aumentados, tendo em vista que uma maior área condilar reduziria os impactos sobre as articulações. (GARLAND & FREEMAN, 2005)

Pés

Ao observarmos os pés de humanos e macacos, é possível notar diferenças anatômicas que resultam em uma alteração de função como a oposição do polegar em chimpanzés, Articulação Calcaneocuboidea, bem como o Arco Longitudinal Medial em humanos (**Figura 6**). Alguns aspectos dos pés dos humanos podem estar relacionados à capacidade de corrida de resistência. Um deles é o Calcâneo, onde o Tríceps Sural se insere, mais precisamente na Tuberosidade do Calcâneo. (AIELLO & DEAN, 1990)

Scholz et al (2008) desenvolveram um método para testar a influência do braço de alavanca sobre o armazenamento de energia nos tendões, revelando a relação da anatomia do Calcâneo com o gasto metabólico durante a corrida. Eles concluem que quanto menor o braço de alavanca, maior a energia armazenada no tendão. Além disso, existe uma relação entre o tamanho da Tuberosidade do Calcâneo e o armazenamento de energia no tendão. Quanto menor Tuberosidade do Calcâneo maior o alongamento do tendão, proporcionando maior armazenamento de energia. (RAICHLIN; ARMSTRONG; LIEBERMAN, 2011)

Apesar da comparação dos pés de chimpanzés e o registro fóssil dos primeiros hominíneos expor diferenças nos ossos Talus, Cubóide, Calcâneo, Navicular e Cuneiformes (SUSMAN, 1983), as falanges do pé que apresentam maior relação com o desenvolvimento das capacidades da corrida de resistência. ROLIAN et al (2009) coletaram dados sobre a cinemática (aspecto que abrange os elementos tempo, espaço e massa de um sistema móvel) e cinética (forças que provocam o movimento) (LIPPERT, 2018) para testar a atuação do tamanho dos dedos, eles testaram a hipótese de que dedos mais curtos melhoram a performance locomotora. Esta hipótese foi confirmada no estudo.

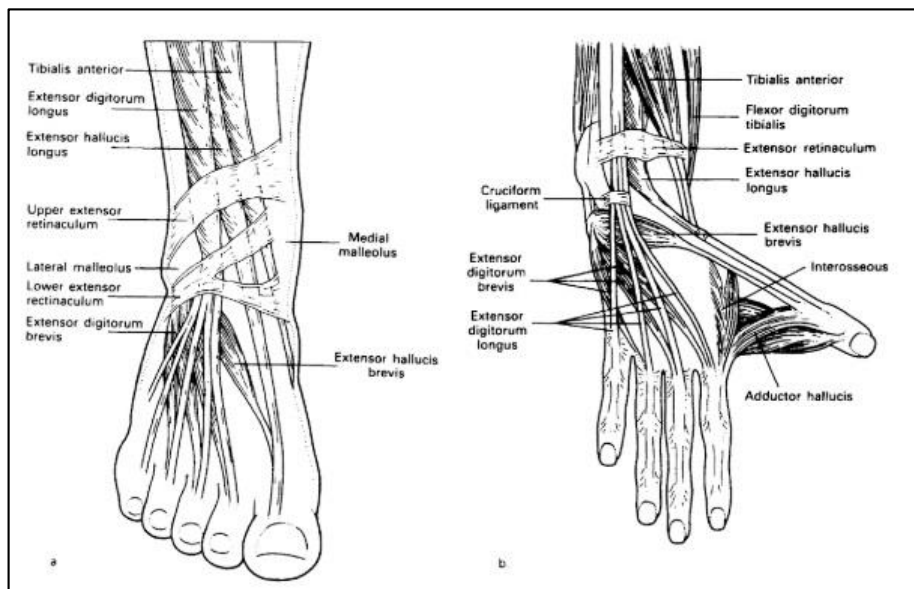


Figura 6: Diferenças anatômicas dos pés de humanos (à esquerda) e chimpanzés (à direita), destacando a abdução do Hálux associado ao hábito arborícola dos chimpanzés.
Fonte: (AIELLO & DEAN, 1990)

1.3.2 TENDÕES

Os tendões são estruturas formada de fibras de colágeno em forma de mola. Eles fixam os músculos aos ossos que quando submetidos à tensão, as fibras se deformam e quando essa tensão cessa há a reorientação das fibras, retornando ao estado de repouso. (SANTOS, 2014). Durante a corrida, esses tendões funcionam como molas que armazenam energia elástica que é depois liberada e transformada em energia cinética gerando propulsão.

1.3.3 MÚSCULOS

Glúteo máximo

O músculo Glúteo Máximo é considerado uma característica marcante do bipedalismo (STERN, 1972), apresentando diferenças anatômicas nos seres humanos e em outros

primatas, especialmente no aumento da largura com a expansão da porção cranial e perda da porção caudal nos humanos. (LIEBERMAN et al, 2006). O Glúteo Máximo tem origem na parte posterior da Crista Ilíaca, Sacro, parte superior do Cóccix e do Ligamento Sacrotuberal e se insere na Tuberosidade Glútea do Fêmur e no Trato Iliotibial (STERN, 1972). (**Figura 7**)

Já nos grandes primatas ele tem uma área de origem e de inserção maior. A origem é mais ampla em decorrência do formato da pelve - ela inicia em uma aponeurose da metade distal do Sacro e parte superior do Cóccix, do Ligamento Sacrotuberal e da parte proximal da Tuber Isquiático. Esse músculo é dotado de duas porções: Glúteo Máximo Próprio que se insere no Trato Iliotibial e uma porção inferior Isquiofemoral que se insere em toda parte lateral do Fêmur, da Linha Glútea ao Epicôndilo Lateral. O Glúteo Máximo Próprio equivale ao Glúteo Máximo nos seres humanos e o Isquiofemoral é ausente. (AIELLO & DEAN, 1990).

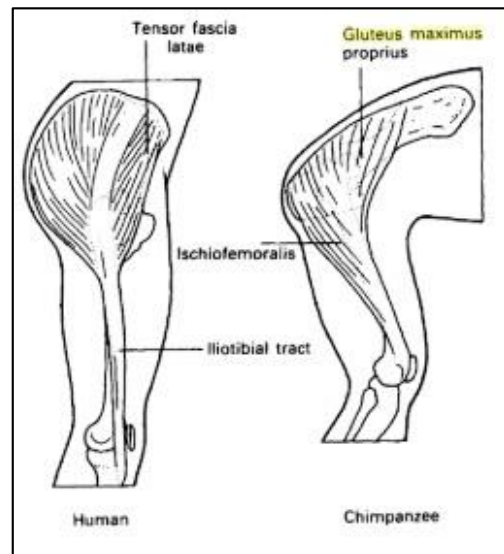


Figura 7: Diferenças anatômicas do glúteo máximo humano e do chimpanzé.
Fonte: (AIELLO & DEAN, 1990)

1.4 MARCHA

Para compreender as mudanças anatômicas relativas à capacidade de correr é importante entender os componentes da caminhada e da corrida. A locomoção ocorre através de fenômenos que se repetem, denominados de ciclo de marcha, cujo início ocorre quando um pé toca o chão e termina quando o mesmo pé toca o chão novamente. (LIPPERT, 2018)

O ciclo de marcha é dividido em duas fases: fase de apoio e fase de balanço, uma quando o pé está em contato com o solo e a outra quando ele está fora do solo, respectivamente (**Figura 8**). (OATIS, 2014). Na caminhada são observados os momentos de:

aceitação do peso, apoio em um membro inferior e avanço do membro inferior (LIPPERT, 2018) que funcionam como um pêndulo invertido. (BRAMBLE & LIEBERMAN, 2004).

Já na corrida é definida como um tipo de marcha que apresenta uma fase de balanço mais longa do que a fase de apoio e que apresenta um momento de “voo”, onde nenhum dos membros inferiores está em contato com o solo. (HOUGLUM, 2014). (**Figura 9**). Durante a corrida o mecanismo utilizado é o acúmulo de energia elástica nos tendões e ligamentos durante a fase de apoio e a liberação dessa energia para lançar o corpo para frente na fase de balanço (BRAMBLE & LIEBERMAN, 2004).

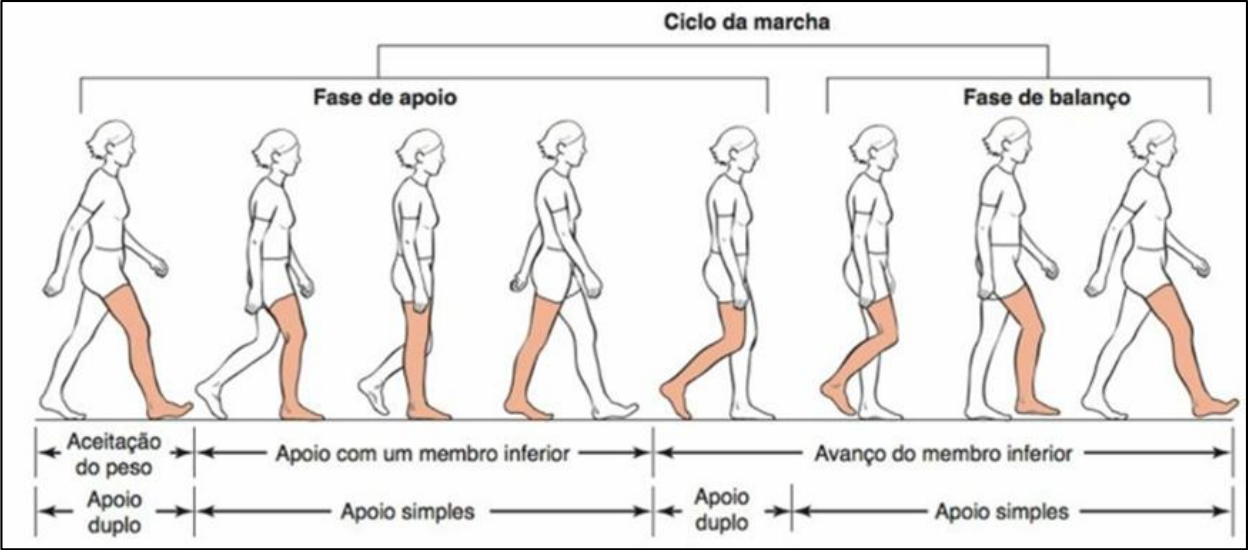


Figura 8: Ilustração do ciclo da marcha na caminhada com suas fases de apoio e balanço e os apoios simples e duplos.
Fonte: (LIPPERT, 2018)

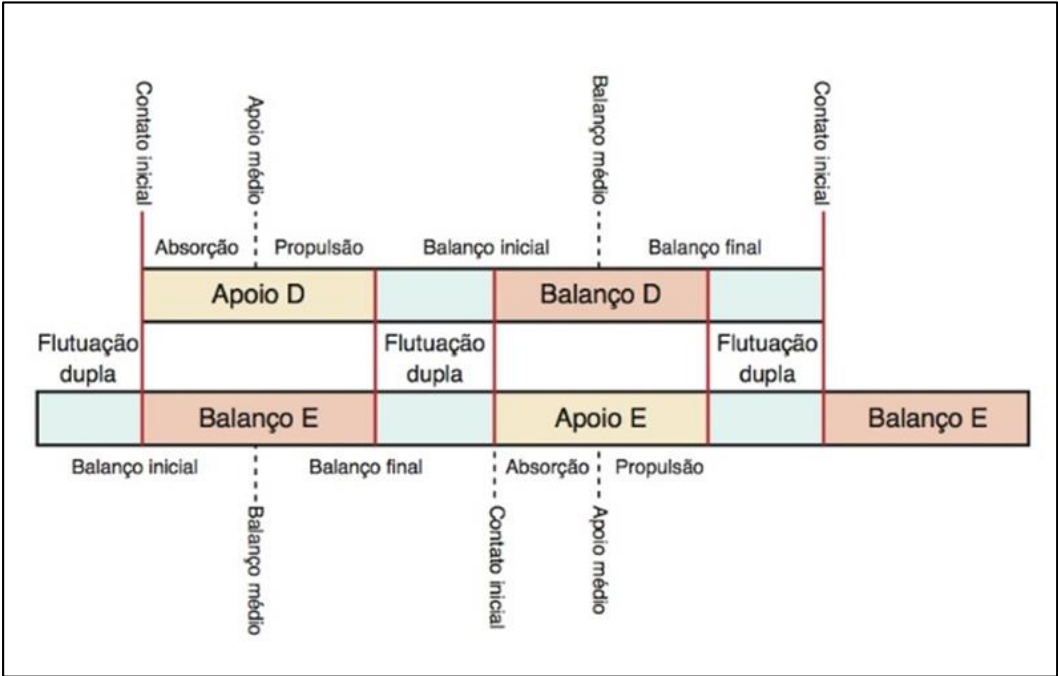


Figura 9: Esquema das fases da marcha de corrida com fase de apoio mais curta e fase “sem apoio” ou flutuação dupla.

Fonte: (HOUGLUM, 2014)

1.5 CORRIDA DE RESISTÊNCIA

A corrida de resistência é descrita como a habilidade de correr longas distâncias (acima de 5km) através da utilização de um metabolismo aeróbico. (LIEBERMAN & BRAMBLE, 2007). De modo geral, os primatas não são bons corredores devido a algumas especificações anatômicas relacionadas ao hábito de escalar árvores. Além disso, as florestas nas quais vivem não favorecem a corrida. Portanto, a capacidade humana de corrida de resistência é única entre os primatas. (LIEBERMAN & BRAMBLE, 2007)

Quando comparados com outros mamíferos corredores, os seres humanos não se destacam na corrida. Animais corredores com postura quadrúpede são capazes de correr curtas distâncias em maiores velocidades, mas à medida que a distância aumenta a velocidade diminui (PONTZER, 2017). Durante as corridas de *sprint* (arrancada) os quadrúpedes exibem velocidades acima da capacidade humana, quando nem mesmo atletas de elite conseguem se equiparar a esses animais. Já quando falamos de corrida de resistência, os seres humanos podem ultrapassar animais corredores em velocidade e distância percorrida. (BRAMBLE & LIEBERMAN, 2004).

Dentre os pré-requisitos necessários para a realização da corrida de resistência temos a eficiência metabólica e habilidade de dissipar calor. Apesar dos humanos apresentarem um alto custo de transporte energético, que se refere consumo de oxigênio por unidade de massa corporal por distância percorrida, durante a corrida comparado com outros mamíferos, esse custo não está relacionado à velocidade, ou seja, seres humanos podem correr de forma lenta ou rápida consumindo a mesma quantidade de energia (CARRIER, 1984). Em contrapartida, adaptações biomecânicas dos músculos, articulações e tendões permitem a economia de energia durante os movimentos, principalmente em relação a utilização de energia elástica. (ALEXANDER, 1991).

Além disso, os mecanismos de controle térmico são diferentes em humanos e em mamíferos corredores, os últimos que podem chegar às altas velocidades durante um *sprint* de curta duração, em decorrência do aumento da temperatura corporal. Devido à ausência de pelos e à produção de suor, a termorregulação humana é compatível com a corrida, e a resistência humana durante essa atividade pode ter sido selecionada a partir de uma pressão seletiva positiva para esse comportamento (CARRIER, 1984).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar quais características permitiram o desenvolvimento da corrida de resistência em *Homo sapiens*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Discorrer sobre a história evolutiva de alguns grupos de hominíneos até *Homo sapiens*.
- 2) Discorrer sobre as influências ambientais na evolução humana, em relação ao bipedalismo, termorregulação e corrida de resistência.
- 3) Especificar quais estruturas dos membros inferiores sofreram mudanças durante o processo evolutivo proporcionando a corrida de resistência.
- 4) Apontar as implicações da corrida de longa distância para os indivíduos do gênero *Homo*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho constitui uma pesquisa bibliográfica de artigos científicos que abordaram o tema de corrida de resistência e evolução humana. Foram realizadas buscas nas bases de dados Periódicos Capes, Google Acadêmico e PubMed. A delimitação da pesquisa foi feita a partir das palavras: *endurance running and evolution*. Os trabalhos foram avaliados com base nos títulos e resumo e posteriormente foram lidos por completo para a coleta de dados relacionados a temática abordada. Os artigos podiam ser de revisão ou experimentais.

Em seguida, os artigos selecionados foram organizados em uma tabela em ordem cronológica considerando: nome do artigo, autores e um breve resumo realizado pela autora do presente trabalho. Os resultados foram analisados com base no seu conteúdo e discutidos utilizando os critérios de demandas biomecânicas e fisiológicas da corrida de resistência que são: gasto energético, estabilização e termorregulação proposto por LIEBERMAN & BRAMBLE (2007).

4. RESULTADOS

Após as buscas baseadas no tema “*endurance running and evolution*” nas bases de dados, foram selecionados 14 artigos que abordavam o conteúdo. (**Tabela 1**)

Tabela 1: Artigos usados neste estudo.

Data	Nome do artigo	Autores	Resumo
2004	Endurance running and the evolution of <i>Homo</i> .	Dennis M. Bramble e Daniel E. Lieberman.	Artigo de revisão que agrupa características envolvendo registro fóssil, metabolismo, esqueleto, estabilização e termorregulação que estão relacionados ao desenvolvimento da habilidade de corrida de resistência no gênero <i>Homo</i> .
2006	The human gluteus maximus and its role in running	Daniel E. Lieberman; David A. Raichlen, Herman Pontzer, Dennis M. Bramble e Elizabeth Cutright-Smith.	Estudo eletromiográfico de comparação da atividade muscular do Glúteo Máximo durante a caminhada e corrida. Os dados revelaram que os músculo se encontrava mais ativo durante a corrida.
2007	The endurance running hypothesis and hunting and scavenging in savana-woodlands.	Travis Rayne Pickering e Henry T. Bunn.	Artigo de revisão que reúne dados de <i>paleohabitat</i> e paleoecologia para julgar se a corrida de longa resistência se desenvolveu a partir dos comportamentos de caça de persistência e necrofagia, com a conclusão que esses comportamentos tiveram mínima influência na evolução da corrida.
2007	The evolution of human	Karen L. Steudel-	Estudo que mede o tamanho dos

	running: Effects of changes in lower-limb length on locomotor economy.	Numbers, Timonthy D. Weaver e Cara M. Wall-Scheffler.	membros inferiores em relação ao gasto energético na caminhada e na corrida e se o tamanho da passada está relacionado à economia de energia, com a conclusão de que membros mais longos aumentam a eficiência na corrida e que isto não tem relação ao tamanho das passadas.
2007	The evolution of endurance running and the tyranny of ethnography: A reply to Pickering and Bunn (2007)	Daniel E. Lieberman, Dennis M. Bramble, David A. Raichlen, John J. Shea.	Artigo de resposta ao trabalho de Pickering and Bunn (2007) que junta argumentos para refutar sua teoria. Os pesquisadores concluem que as evidências sugerem que <i>H. erectus</i> era capaz de realizar corrida de longa distância e que isso aumentou sua capacidade de obter recursos, seja por caça de persistência ou necrofagia.
2007	The evolution of marathon running. capabilities in humans.	Daniel E. Lieberman and Dennis M. Bramble.	Artigo que reúne as demandas biomecânicas e fisiológicas da corrida de resistência, mostrando suas raízes e implicações evolutivas, como o desenvolvimento da caça de persistência.
2008	The relevance of persistence hunting to human evolution.	Louis Liebenberg.	Artigo que traz informações que contestam o trabalho de Pickering and Bunn (2007) afirmando que eles utilizaram justificativas falhas e que na ausência de uma melhor hipótese, a caça de persistência e alimentação por carcaças continua

			sendo uma explicação para a evolução da corrida de resistência
2009	Walking, running and the evolution of short toes in humans.	Campbell Rolian, Daniel E. Lieberman, Joseph Hamill, John W. Scott e William Werbel	Estudo avaliou se o tamanho dos dedos dos pés está relacionado ao desempenho locomotor na caminhada e na corrida, sugerindo que dedos mais curtos reduzem os custos metabólicos e mecânicos, bem como os riscos de lesão.
2011	Calcaneus length determines running economy: Implications for endurance running performance in modern humans and Neandertals	David A. Raichlen, Hunter Armstrong, Daniel E. Lieberman.	Estudo da influência do tamanho da Tuberosidade do Calcâneo na economia de energia. Calcâneos mais curtos geram mais força com menor gasto energético.
2011	Thermoregulation and endurance running in extinct hominins: Wheeler's models revisited.	Graeme D. Ruxton e David M. Wilkinson.	Trabalho que utiliza modelos matemáticos para avaliar se a corrida de resistência seria termicamente possível para hominíneos extintos. Concluindo que essa modalidade de corrida só seria possível se esses grupos de hominíneos apresentassem estruturas semelhantes aos humanos modernos.
2012	Evolutionary aspects of human exercise – Born to run purposefully.	Mark P. Mattson.	Artigo de revisão que fala sobre características que permitem a corrida de resistência, com enfoque maior no cérebro e a produção de BDNF (brain derived neurotrophic factor), associados a melhora de memória e neuroproteção

			aprimorando a estratégia de caça.
2013	Endurance running and its relevance to scavenging by early hominins.	Graeme D. Ruxton e David M. Wilkinson.	Artigo avalia a alimentação por carcaças nas situações onde os hominíneos conseguiriam ou não defender as carcaças encontradas. Concluindo que a corrida de longa distância provavelmente não foi importante na obtenção de recursos através de carcaças com a possibilidade da corrida de resistência estar mais relacionada a busca ativa por presas.
2015	Human Locomotion and Heat Loss: An evolutionary perspective.	Daniel E. Lieberman	Artigo de revisão que compila as mudanças de locomoção em chimpanzés e outros hominíneos, incluindo o gênero <i>Homo</i> , assim como as características relacionadas a eficiência na perda de calor, essas particularidades podem ter se desenvolvido num cenário de fuga dos predadores, caça e coleta de recursos.
2017	Economy and Endurance in Human Evolution.	Herman Pontzer.	Artigo de revisão que junta fatores de economia de energia e capacidade de <i>endurance</i> durante a evolução, separando esses fatores nos grupos de primeiros hominíneos, <i>Australopithecus</i> e indivíduos do gênero <i>Homo</i> .

5. DISCUSSÃO

5.1 Gasto energético

Os determinantes do gasto energético para os humanos iniciam na adaptação à postura bípede que é considerada uma forma de locomoção que não ocorre com frequência. (LIEBERMAN, 2015). De acordo com Sockol, Raichlen e Pontzer (2007), a marcha humana é mais econômica do que a dos chimpanzés em termo de caminhada. Na corrida, apesar de apresentar as mesmas fases que a caminhada (apoio e balanço), existe uma parte exclusiva, denominada fase de voo, onde não há nenhum contato com o solo (HOUGLUM, 2014). Além disso, a corrida apresenta diferenças biomecânicas em relação à caminhada, determinadas pelos tendões que funcionam de forma semelhante a uma mola (força elástica), que armazena e libera energia. (LIERBERMAN & BRAMBLE, 2004).

Os tendões alongados dos seres humanos, especialmente o Trato Iliotibial e Tendão do Calcâneo, ausentes nos grandes primatas nessa conformação (AIELLO & DEAN, 1990), permitem um maior armazenamento de energia elástica que ,quando liberada, possibilita uma maior impulsão durante a corrida. (LIEBERMAN & BRAMBLE, 2007). A eficiência do sistema de molas proporcionada pelos tendões, leva a poupar energia. Caso o impulso fosse produzido apenas pela força de contração muscular, aumentaria o gasto energético e, portanto, a biomecânica da corrida permite uma economia energética.

Outra importante característica relacionada à economia de energia é o tamanho dos membros inferiores. De modo geral, grupos de hominíneos e outros primatas apresentam membros inferiores menores em relação aos membros superiores, porém fósseis de *H. erectus* apresentam proporções semelhantes às do homem moderno (AIELLO & DEAN, 1990). De acordo com a massa corporal, membros inferiores com maior comprimento diminuem os gastos durante a corrida. Como é possível observar na **Figura 2**, com o passar do tempo há um aumento do tamanho dos membros inferiores, acredita-se que uma pressão seletiva pode ter levado a seleção dessa estrutura nessa conformação. Membros mais longos e articulações maiores estão relacionados a força de reação articular sobre essas estruturas, que podem estar mecanicamente associados a longos deslocamentos (JUNGERS, 1987), como a corrida de longa distância (STEUDEL-NUMBERS, WEAVER e WALL-SCHEFFLER, 2007)

Além disso, a inserção do Tríceps Sural na Tuberosidade do Calcâneo de tamanho reduzido leva ao maior alongamento do tendão, consequentemente aumentando a energia armazenada e liberada em forma de movimento, levando à economia e eficiência durante a corrida (RAICHLLEN; ARMSTRONG; LIEBERMAN, 2011). O tamanho do Calcâneo em si,

também leva à economia energética. Quanto menor o osso do Calcâneo, menor o braço de alavanca, proporcionando maior armazenamento de energia na estrutura do tendão (SCHOLZ et al, 20018), como mencionado anteriormente, poupando energia.

Por último, dedos mais curtos reduzem o gasto metabólico, pela diminuição do gasto mecânico, reduzindo também o risco de lesões, em especial, por esforço repetitivo durante a corrida. Em decorrência da falta de dados fósseis das falanges dos grupos basais do gênero *Homo*, o surgimento de dedos mais curtos como conhecemos é incerto, porém sua relação com a eficiência energética o relaciona a para a corrida de resistência. (ROLIAN, 2009)

5.2 Estabilização

Já que na corrida há um aumento da velocidade de locomoção e apresenta uma fase sem apoio no solo é imprescindível a presença de mecanismos para manutenção de equilíbrio do corpo. A pelve apresenta adaptações para o bipedalismo, parto e regulação da temperatura corporal que podem estar associados ao ambiente, comportamento e locomoção. (GRUSS & SCHMITT, 2015). *Homo habilis* apresentava a pelve semelhante à de *Homo sapiens* devido ao comprimento do Corpo e do Tuber Isquiático, tamanho do Acetábulo e da Articulação Sacroilíaca. Essas características encontradas estão relacionadas à postura bípede nos mecanismos de inclinação pélvica alternada, extensão de quadril, transferência de peso do tronco para o quadril de forma efetiva, dentre outros (ROSE, 1984). Portanto, essas estruturas têm papel de manter a estabilização corporal.

Já o Glúteo Máximo tem uma importante ação na extensão, hiperextensão e rotação lateral de quadril (LIPPERT, 2018). De acordo com estudos eletromiográficos, existem diferenças no padrão de ativação no Glúteo Máximo durante a caminhada e a corrida, onde este está mais ativo durante a corrida do que caminhada, o que não significa que não há ativação durante a caminhada, mas que ela ocorre de forma diretamente proporcional à velocidade. Acredita-se que o aumento do Glúteo Máximo não esteja ligado apenas ao surgimento do bipedalismo, já que músculos maiores apresentam maior potência, sugerindo a sua relação com a corrida. (LIEBERMAN et al, 2006).

Ao observar a **Figura 7**, nota-se que a conformação do Glúteo Máximo de chimpanzés leva a flexão de tronco e quadril, sendo incompatível com a postura bípede humana. As evidências mais antigas de modificações neste músculo foram encontradas em *Homo erectus*. (BRAMBLE & LIEBERMAN, 2004). Logo, este apresenta um importante papel na extensão de quadril na perna de apoio e no controle da flexão de tronco durante a corrida, promovendo a estabilização de tronco, já na perna que não está em contato com o solo, e diminuindo a

velocidade na fase de balanço. (LIEBERMAN et al, 2006). Associado a isso, há o aumento da área das articulações que permite uma maior estabilidade e diminuição do estresse mecânico. (LIEBERMAN, 2004)

5.3 Termorregulação

Potts (2013) em sua teoria da *variabilidade ambiental* sugere que o cenário da evolução humana estava relacionado a uma grande instabilidade climática, porém o gênero *Homo* apresenta indivíduos capazes de se adaptar a diversos ambientes (GRUSS & SCHMITT, 2015). Para alcançar a habilidade de correr longas distâncias, o primeiro passo foi a adoção da postura bípede, já que este é uma característica que define a linhagem humana (PONTZER, 2017). A posição ereta bípede também apresenta um papel sobre a temperatura do corpo através da diminuição da área de incidência solar ao meio dia, em adição à perda de pelo corporal que aumenta a condução de térmica e a perda de calor por evaporação (WHEELER, 1984).

O formato e tamanho do corpo pode ser influenciado pelo ambiente, tratando-se de temperatura e umidade. A largura da pelve está ligada à capacidade de termorregulação, quando são mais largas geralmente estão associadas a climas frios e mais estreitas a climas quentes (RUFF, 1991), apesar da pelve está diretamente ligada à locomoção, sua conformação mais reduzida ajuda na dissipação de calor (GRUSS & SCHMITT, 2015). Assim, podemos dizer que uma das funções da pelve é a termorregulação. Além disso, há a predominância da regulação da temperatura da respiração, permitindo a eficiência de um sistema de resfriamento através do suor, em contraste da predominância do resfriamento pelas vias respiratórias de outros animais corredores. (CARRIER, 1984).

A termorregulação, além de ter importância na resposta ao ambiente, também está ligada ao desenvolvimento da corrida de resistência, já que durante o exercício físico, em decorrência da atividade muscular há o aumento da produção de calor (CARRIER, 1984). Caso não existam mecanismos para regulação da temperatura, esse aquecimento pode ser tornar perigoso, especialmente em climas quentes. Assim, humanos possuem uma capacidade singular de resfriamento do corpo durante atividades extenuantes em ambientes quentes. Além de tudo, a termorregulação é imprescindível para evitar o hiperaquecimento do cérebro. Os mecanismos pelos quais a temperatura cerebral é mantida em humanos ainda não estão bem elucidados, mas essa manutenção é suficiente para evitar danos neurais (LIEBERMAN, 2015). Apesar dessas adaptações, Ruxton e Wilkinson (2011) afirmam que durante a evolução a corrida de resistência, realizadas possivelmente durante a caça, deveria acontecer em

temperaturas muito elevadas e em ambientes abertos e que fatores como desidratação seriam desfavoráveis a prática.

5.4 Implicações

As origens da corrida de resistência podem ser bem antigas e sua prática perdura até hoje. Desta maneira, podemos nos perguntar quais vantagens foram conferidas por tal comportamento que permanece conservado. Existem diversas teorias sobre as implicações da corrida de resistência, exemplificadas nos parágrafos seguintes.

O aumento da temperatura e a diminuição do número de árvores (principalmente de grande porte), formando ambientes mais abertos e quentes pode ter sido uma das pressões seletivas para a melhoria da eficiência da caminhada, permitindo o forrageamento e busca de recursos. Essa teoria da savana apresenta falhas, como o não desenvolvimento da postura bípede em animais que habitavam esse mesmo ambiente nas mesmas condições. Porém, o fato desses ambientes serem abertos, tornavam os hominíneos alvos vulneráveis para a predação por carnívoros (LIEBERMAN, 2015).

Desta forma, há a possibilidade de desenvolvimento de mecanismos de termorregulação para a busca de recursos durante as horas mais quentes do dia, dentre eles a postura bípede e a perda de pelos corporais (WHEELER, 1984). Com sistemas de dissipação de calor mais eficientes, os primeiros hominíneos podiam caçar em temperaturas mais elevadas e levando as presas a situações de hiperaquecimento através da corrida (CARRIER, 1984), sendo este aspecto também verdadeiro para os predadores corredores. Assim, hominíneos que forrageavam nos ambientes abertos da savana, andando ou correndo, podiam se submeter a maiores temperaturas, aproveitando a ameaça diminuída dos predadores e a disponibilidade deste novo nicho.

Outra hipótese sugere que a seleção de fatores que auxiliaram no aumento da competência locomotora no gênero *Homo* (incluindo adaptações termorregulatórias) se deu a partir do desenvolvimento do comportamento de caça e coleta de recursos. Acredita-se que durante a evolução do gênero *Homo* a caminhada de longa distância foi favorecida para que em seguida a corrida de longa distância se desenvolvesse. Apesar da caminhada ser relevante durante a evolução humana, pressupõe-se que as combinações de adaptações do gênero favoreçam a corrida (LIEBERMAN, 2015).

Durante a predação, a corrida pode ter sido uma habilidade útil, especialmente a corrida de resistência, funcionando como “arma”, antes do desenvolvimento de uma estrutura cultural complexa e ferramentas da caça (CARRIER, 1984). Um método de caça associado a

essa habilidade é a caça de persistência. Esta consiste em perseguir a presa até que esta hiperaqueça e seja forçada a descansar para recuperar a temperatura corporal ideal (LIEBERMAN, 2015). Como explicado anteriormente, os quadrúpedes apresentam menor eficiência termorregulatória, especialmente em ambientes quentes, devido ao resfriamento do corpo pelas vias respiratórias.

Além disso, a corrida de resistência pode ter beneficiado a obtenção de alimento através do consumo de carcaças (necrofagia) (LIEBERMAN, 2015), antes do surgimento de ferramentas mais elaboradas. Tanto a caça de persistência e necrofagia apresentam registros aproximadamente da mesma época das primeiras evidências de consumo de carne pelos grupos basais do gênero *Homo*, cerca de 2,5 milhões de anos atrás. (BRAMBLE & LIEBERMAN, 2004). Porém, Ruxton e Wilkinson (2013), sugerem que a corrida de resistência não foi relevante para a exploração de carcaças de animais e que possivelmente corridas mais curtas fossem mais efetivas, sendo que as adaptações seguiram a progressão “de corridas curtas a corridas mais longas”.

Pickering e Bunn (2007), sugerem que a caça e necrofagia foram influenciadas minimamente pelo comportamento da corrida de resistência. Eles chegaram a essa conclusão a partir de dados de *paleohabitat* e paleoecologia, apontando que os primeiros *Homo* não apresentavam capacidade cognitiva e habilidade de rastreamento para a caça de persistência, e áreas com menor competição por recursos de carcaça, dispensado a necessidade da corrida. Porém, seus dados apresentam controvérsias.

Lieberman, Bramble, Raichlen e Shea (2007), contestam os dados de Pickering e Bunn (2007) afirmando que os primeiros *Homo* apresentavam capacidade cognitiva suficiente para o rastreamento de presas durante a caça e que a utilização de dados etnográficos de caçadores-coletores da atualidade não representa a realidade do passado. E que, durante a obtenção de carne por carcaças, a corrida auxiliou na competição com outros carnívoros. Essas competências, permitiram a ocupação do nicho de carnívoro diurno social, o que aumentou o *fitness* dos primeiros *Homo*. Em 2008, Liebenberg, criticou Pickering and Bunn (2007) dizendo que seus argumentos eram falhos e que na falta de uma hipótese melhor, caça de persistência e necrofagia são explicações possíveis para o desenvolvimento da corrida de resistência.

O cérebro humano pode ter aumentado de tamanho antes ou depois da prática da corrida de resistência. Já que este órgão requer uma grande quantidade de nutrientes, a dieta pode estar diretamente ligada ao seu desenvolvimento. Os maiores graus de encefalização só apareceram após o surgimento dos primeiros *Homo* (BRAMBLE e LIEBERMAN, 2004).

Como mencionado anteriormente, esse tipo de corrida pode estar relacionado à obtenção de recursos por meio da corrida de resistência e carcaças de animais, ambas fontes de carne. Então, acredita-se que a adição de carne à dieta humana proporcionou uma fonte rica em proteína e gordura compatível com o consumo energético do cérebro, aumento cognitivo e da tecnologia (PONTZER, 2017).

Para realizar a corrida por longas distâncias, os primeiros hominíneos precisavam exibir capacidades cognitivas complexas, como memorização de detalhes ambientais e de oferta de recursos. A corrida promove a produção de BDNF (Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro) que ativa sinapses que levam à melhora de memória, diminuição da ansiedade, aumento da capacidade aeróbica e neuroproteção. Aparentemente, houve uma co-evolução de vias de sinalização que proveram adaptações ao exercício físico e a via do BDNF é uma delas (MATTSON, 2012). Portanto, indivíduos que apresentavam maiores capacidades cognitivas, provavelmente associados a um maior volume cerebral eram mais aptos a obter recursos.

5.5 Corrida de resistência e atletas de elite

Após entender os processos que levaram a adaptações dos seres humanos podemos visualizar qual o nível que essas modificações chegaram. Inicialmente, o desenvolvimento da corrida de longa distância pode ter gerado vantagens para obtenção de recursos, sobrevivência, de forma geral, o aumento do *fitness* dos primeiros indivíduos pertencentes ao gênero *Homo*. Atualmente, as especializações anatômicas, biomecânicas e fisiológicas permitem performances surpreendentes.

A partir dos Jogos Olímpicos de 1968 começou a hegemonia do leste africano em provas de média e longa distância. (WILBER & PITSILADIS, 2012) Os Quenianos, especialmente os da tribo Kalenjin, são dominantes nas provas de longa distância em eventos como as Olimpíadas e campeonatos mundiais, e os fatores que os levam a ser tão bons envolvem alta capacidade de produção de energia pelo metabolismo aeróbico e transporte/metabolização de oxigênio e economia durante a corrida.

A forma do corpo está diretamente ligada à economia da corrida. (LARSEN, 2003). Assim, a composição corporal pode ter influência sobre a corrida de resistência (SAUNDER, 2004). Kong e Heer (2008) fizeram medidas antropométricas de altura, peso, comprimento da perna, circunferência máxima da panturrilha e mínima do tornozelo. Foi um estudo pioneiro da biomecânica e força de corredores de elite Quenianos, chegando à conclusão que estes atletas apresentam um baixo índice de massa corporal, baixo percentual de gordura e

membros finos. Em relação à sua marcha foi observado um curto período de contato do pé com o solo.

O modelo de molas da corrida também está relacionado a economia de energia, já que aproveita o armazenamento de energia elástica que é convertida em energia cinética para o movimento (SAUDERS, 2004). De forma geral, são muitas variáveis que proporcionam aos africanos, especialmente do Quênia ganharem destaque em provas de resistência, sendo eles fatores genéticos (como DNAmitocondrial), fatores fisiológicos (como tipo de fibra muscular e metabolismo), fatores ambientais (exposição a altitude elevadas contribuindo para capacidade aeróbica) e fatores psicossociais como dieta e motivação (WILBER & PITSILADIS, 2012).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de não ser possível descrever com certeza os acontecimentos do passado, os registros fósseis fornecem informações valiosas sobre o processo de evolução. Ao observar o homem moderno e seus comportamentos, muitas vezes podemos nos questionar sobre suas origens. Assim, estudar comportamentos humanos sobre a perspectiva evolutiva pode trazer respostas a esses questionamentos.

A partir dos dados deste trabalho, é possível observar que o desenvolvimento da capacidade de realizar corrida de resistência pode ter surgido a partir de pressões ambientais e comportamentais que levaram à seleção de adaptações anatômicas e biomecânicas durante a história dos homíníneos. Essas mudanças podem ter proporcionado vantagens sobre a obtenção de recursos, que está diretamente relacionado à sobrevivência e *fitness* dos indivíduos.

Estruturas dos membros inferiores, dentre elas ossos, músculos e tendões, bem como eficiência para dissipar calor permitem ao ser humano correr longas distâncias, já que proporcionam economia energética, estabilização e termorregulação. E a manutenção destas adaptações sugere um perfil de vantagem para os indivíduos que as possuíam. A capacidade de corrida de resistência pode ter iniciado a partir da melhoria da eficiência ao caminhar, passando pela melhora da corrida para caça e atualmente chegou a níveis surpreendentes com atletas de elite.

REFERÊNCIAS

- AIELLO, L.; DEAN, C. **An introduction to human evolutionary anatomy**. 1. ed. Londres: Academic Press, 1990.
- ALEXANDER, R. M. Energy-saving mechanisms in walking and running. **Journal of Experimental Biology**, v. 160, p. 55-69, 1991.
- ANTÓN, Susan C. Natural history of Homo erectus. **Yearbook of Physical Anthropology**, v. 46, p. 126-170, 2003.
- BOOTH, Frank W.; LEES, Simon, J. Fundamental questions about genes, inactivity, and chronic diseases. **Physiological Genomics**, v. 28, p. 146–157, 2007.
- BRAMBLE, Dennis M.; LIEBERMAN, Daniel E. Endurance running and the evolution of Homo. **Nature**, v. 432, p. 345-352, nov, 2004.
- BRUNET, Michel et al. A new hominid from the upper miocene of Chad, Central Africa. **Nature**, v. 418, p. 145-152, jul, 2002.
- _____. New material of the earliest hominid from the upper miocene of Chad. **Nature**, v. 434, p. 752-755, abr, 2005.
- CARRIER, David R. The energetic paradox of human running and hominid evolution. **Current Anthropology**, v. 25, n. 4, 1984.
- DEMENOCAL, Peter B. African climate change and faunal evolution during the Pliocene-pleistocene. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 220, p. 3-24, 2004.
- GARLAND, Theodore Jr.; FREEMAN, Patricia W. Selective breeding for high endurance running increases hindlimb symmetry. **Evolution**, v. 59, n. 8, p. 1851-1854, jun, 2005.
- GRUSS, Laura Tobias; SCHIMITT, Daniel. The evolution of the human pelvis: changing adaptations to bipedalism, obstetrics and thermoregulation. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 370, p. 1-13, 2015.
- HOUGLUM, Peggy A. Postura e marcha. In: _____. **A cinesiologia clínica de Brunnstrom**. 6. ed. Barueri: Manole, 2014. cap. 12. p. 574-576.
- HUBLIN, Jean-Jacques et al. New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of Homo sapiens. **Nature**, v. 546, p. 289-291, jun, 2017.
- JUNGERS, William L. Relative joint size and hominoid locomotor adaptations with implications for the evolution of hominid bipedalism. **Journal of Human Evolution**, v. 17, p. 247-265, 1988.
- KIMBEL, William L.; DELEZENE, Lucas K. “Lucy” redux: a review of research on Australopithecus afarensis. **Yearbook of Physical Anthropology**, v. 52, p. 2-48, 2009.

KONG, Pui W.; HEER, Hendrik de. Anthropometric, gait and strength characteristics of Kenyan distance runners. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 7, p. 499-504, dez, 2008.

LARSEN, Henrik B. Kenyan dominance in distance running. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, v. 136, p. 161–170, ago, 2003.

LEAKEY, L. S. B.; TOBIAS, P. V.; NAPIER, J. R. A new species of the genus *Homo* from Olduvai Gorge. **Nature**, v. 202, n. 4927, p. 7-9, abr, 1964.

LIEBENBERG, Louis. The relevance of persistence hunting to human evolution. **Journal of Human Evolution**, v. 55, p. 1156-1159, 2008.

LIEBERMAN, Daniel E. et al. The human gluteus maximus and its role in running. **The Journal of Experimental Biology**, v. 209, p. 2143-2155, 2006.

_____. Human locomotion and heat loss: an evolutionary perspective. **Comprehensive Physiology**, v. 5, p. 99-117, jan, 2015.

_____.; BRAMBLE, Dennis M. The evolution of marathon running capabilities in humans. **Sports Medicine**, v. 37, p. 288-290, 2007.

_____.; BRAMBLE, Dennis M.; RAICHLIN, David A.; SHEA, John J. The evolution of endurance running and the tyranny of ethnography: a reply to Pickering and Bunn (2007). **Journal of Human Evolution**, v. 53, p. 434-437, 2007.

LIPPERT, Lynn S. Informações básicas. In: _____. **Cinesiologia clínica e anatomia**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018. cap. 1. p. 4.

_____. Marcha. In: LIPPERT, Lynn S. **Cinesiologia clínica e anatomia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018. cap 22. p. 302-307.

LOVEJOY, C. Owen et al. The pelvis and femur of *Ardipithecus ramidus*: the emergence of upright walking. **Science**, v. 326, p. 71e1-71e6, out, 2009.

MATTSON, Mark P. Evolutionary aspects of human exercise – born to run purposefully. **Ageing Research Reviews**, v. 11, p. 347-352, 2012.

OATIS, Carol A. Características da marcha normal e fatores que a influenciam. In: _____. **Cinesiologia: a mecânica e a patomecânica do movimento humano**. 2. ed. Barueri: Manole, 2014. cap. 48, p. 895-896.

PENEDO, Frank J.; DAHN, Jason R. Exercise and well-being: a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. **Current Opinion in Psychiatry**, v. 18, p. 189–193, 2005.

PICKERING, Travis Rayne; BUNN, Henry T. The endurance running hypothesis and hunting and scavenging in savanna-woodlands. **Journal of Human Evolution**, v. 53, p. 434-438, 2007.

PONTZER, Herman. Economy and Endurance in Human Evolution. **Current Biology**, v. 27, p. 613-621, jun, 2017.

POTTS, Richard. Environmental hypotheses of hominin evolution. **Yearbook of Physical Anthropology**, v. 41, p. 93-136, 1998.

_____. Hominin evolution in settings of strong environmental variability. **Quaternary Science Reviews**, v. 73, p. 1-13, 2013.

RAICHLEN, David A.; ARMSTRONG, Hunter; LIEBERMAN, Daniel E. Calcaneus length determines running economy: implications for endurance running performance in modern humans and Neandertals. **Journal of Human Evolution**, v. 60, p. 299-308, jan, 2011.

RICHMOND, Brian G.; JUNGERS, William L. Orrorin tugenensis femoral morphology and the evolution of hominin bipedalism. **Science**, v. 319, p. 1162-1165, mar, 2008.

ROLIAN, Campbell et al. Walking, running and the evolution of short toes in humans. **The Journal of Experimental Biology**, v. 212, p. 713-721, 2009.

ROSE, M. D. A hominine hip bone, KNM-ER 3228, from east Lake Turkana, Kenya. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 63, p. 371-378, 1984.

RUFF, Christopher B. Climate and body shape in hominid evolution. **Journal of Human Evolution**, v. 21. P. 81-105, fev, 1991.

RUXTON, Graeme D.; WILKINSON, David M. Endurance running and its relevance to scavenging by early hominins. **Evolution**, v. 67, n. 3, p. 861-867, mar, 2013.

_____. Thermoregulation and endurance running in extinct hominins: Wheeler's models revisited. **Journal of Human Evolution**, v. 61, p. 169-175, fev, 2011.

SANTOS, Nívea Cristina Moreira. In: _____. **Anatomia e fisiologia humana**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014. cap. 3. p. 46.

SAUNDER, Philo U.; PYNE, David B.; TELFORD, Richard D.; HAWLEY, John A. **Sports Medicine**, v. 34, n. 7, p. 465-485, 2004.

SCHOLZ et al. Running biomechanics: shorter heels, better economy. **The Journal of Experimental Biology**, v. 211, p. 3266-3271, jul, 2008.

SENUT, Brigitte et al. First hominid from the miocene (Lukeino Formation, Kenya). **Earth and Planetary Sciences**, v. 332, p. 137-144, jan, 2001.

SOCKOL, Michael D.; RAICHLEN, David A.; PONTZER, Herman. Chimpanzee locomotor energetics and the origin of human bipedalism. **PNAS**, v. 104, n. 30, p. 12165-12269, jul, 2007.

STERN, Jack T. Anatomical and functional specializations of the human gluteus maximus. **The American Journal of Physical Anthropology**, v. 36, p. 315-340, 1972.

- STEUDEL-NUMBERS, Karen L.; WEAVER, Timonthy D.; WALL-SCHEFFLER, Cara M. The evolution of human running: effects of changes in lower-limb length on locomotor economy. **Journal of Human Evolution**, v. 53, p. 191-196, abr, 2007.
- SUSMAN, Randall L. Evolution of the human foot: evidence from plio-pleistocene hominids. **Foot & Ankle**, v. 3, n. 6, p. 365-376, 1983.
- SUSMAN, Randall L.; STERN, Jack T. Functional morphology of Homo habilis. **Science**, v. 217, set, 1982.
- SUWA, Gen et al. The Ardipithecus ramidus skull and its implications for hominid origins. **Science**, v. 326, p. 68e1-68e7, out, 2009.
- THE SMITHSONIAN INSTITUTION'S HUMAN ORIGINS PROGRAM. **Climate Effects on Human Evolution**. Disponível em: < <http://humanorigins.si.edu/research/climate-and-human-evolution/climate-effects-human-evolution> > Acesso em: 15 de agosto de 2018.
- WHEELER, P. E. The evolution of bipedality and loss of functional body hair in hominids. **Journal of Human Evolution**, v. 13, p. 91-98, 1984.
- WHITE, Tim D. et al. Ardipithecus ramidus and the paleobiology of early hominids. **Science**, v. 326, p. 75-86, out, 2009.
- WILBER, Randall L.; PITSILADIS, Yannis P. Kenyan and Ethiopian Distance Runners: What Makes Them So Good? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 7, p. 92-102, 2012.